



TITLE:

コランダム構造酸化ガリウム系半
導体の電気特性制御とデバイス応
用(Abstract_要旨)

AUTHOR(S):

赤岩, 和明

CITATION:

赤岩, 和明. コランダム構造酸化ガリウム系半導体の電気特性制御とデ
バイス応用. 京都大学, 2016, 博士(工学)

ISSUE DATE:

2016-03-23

URL:

<https://doi.org/10.14989/doctor.k19717>

RIGHT:

許諾条件により本文は2017-01-01に公開

京都大学	博士（ 工 学 ）	氏名	赤 岩 和 明
論文題目	コランダム構造酸化ガリウム系半導体の電気特性制御とデバイス応用		
<p>（論文内容の要旨）</p> <p>本論文は、コランダム構造酸化ガリウム($\alpha\text{-Ga}_2\text{O}_3$)をベースとする半導体において、ドーピングによる電気的特性の制御を行い、デバイス応用に向けた進展を記すことを目指して行った研究をまとめたもので、6章からなっている。</p> <p>第1章は序論であり、コランダム構造酸化物混晶系の特徴と従来の研究結果を概観し、その多様な機能を活かすデバイス応用に向けて、ベースとなる半導体材料であるコランダム構造酸化ガリウムの電気伝導性の向上と制御が必要であることを述べ、本研究の目的を明確にしている。</p> <p>第2章では、サファイア基板上の$\alpha\text{-Ga}_2\text{O}_3$ 薄膜へのドーピングを試み、電気特性について評価した結果を述べている。$\alpha\text{-Ga}_2\text{O}_3$ 薄膜は、アンドープにおいて絶縁体的な性質をもつが、スズ (Sn) のドーピングにより、n 型電気伝導を実現し、$10^{18}\sim 10^{19}\text{ cm}^{-3}$ 台のキャリア密度制御に成功している。しかし、基板との格子不整合に基づく転位の影響で伝導電子への強い補償が生じるため、10^{18} cm^{-3} 以下の領域での制御には結晶性の向上が必要なことを指摘している。$\alpha\text{-Ga}_2\text{O}_3$ の膜厚が増加すると結晶性は改善し、ホール移動度が向上する傾向を示し、最大で $20\text{ cm}^2/\text{Vs}$ の値を実現している。また、Sn のドーピングにより、$\alpha\text{-Ga}_2\text{O}_3$ 薄膜の表面粗さや結晶性が向上する結果を示し、このことから Sn がサーファクタント的な効果を果たしているものと推察している。</p> <p>第3章では、Sn ドープ$\alpha\text{-Ga}_2\text{O}_3$ 薄膜を成長後、450°C、24 時間のアニールによって Sn を失活させて高抵抗化し、これをバッファ層としてその上に Sn ドープ$\alpha\text{-Ga}_2\text{O}_3$ 薄膜を成長するという方法を提言し、低キャリア密度領域での$\alpha\text{-Ga}_2\text{O}_3$ 薄膜のキャリア密度制御を目指した結果を述べている。アニールバッファ層の導入によって Sn ドープ$\alpha\text{-Ga}_2\text{O}_3$ 薄膜の結晶性が向上し、$10^{17}\sim 10^{19}\text{ cm}^{-3}$ 台でのキャリア密度制御を実現するとともに、ホール移動度として $24\text{ cm}^2/\text{Vs}$ という高い値を達成している。また、キャリア密度の温度依存性から、孤立したドナーの活性化エネルギーを計算して 36.8 meV の値を得て、これが水素モデルから計算した値と良好な一致を示していると指摘している。移動度は、低キャリア密度領域において減少する結果を示し、これは転位散乱の影響が強いためであり、結晶性の改善によって移動度がさらに向上しうるものと指摘している。</p>			

京都大学	博士（工学）	氏名	赤岩和明
<p>第4章では、導電性の高い半導体である$\alpha\text{-In}_2\text{O}_3$をベースとした$\alpha\text{-(In,Fe)}_2\text{O}_3$混晶薄膜を作製し、磁気特性および電気特性について評価した結果を述べている。$\alpha\text{-(In,Fe)}_2\text{O}_3$混晶薄膜は強磁性を示し、キュリー点は520~620Kと室温以上の値を示す実験結果を述べ、その磁気的な起源は$\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3$と同じ傾角強磁性であることを指摘している。また、$\alpha\text{-(In,Fe)}_2\text{O}_3$混晶薄膜は半導体的な電気特性を示し、Snのドーピングにより導電性の制御に成功している。以上を通じ、$\alpha\text{-(In,Fe)}_2\text{O}_3$混晶薄膜はキャリア伝導と強磁性を併せもつことを示して、新しいスピントロニクス材料への展開を示唆している。</p> <p>第5章では、$\alpha\text{-Ga}_2\text{O}_3$のデバイス応用を念頭に、金属-半導体型電界効果トランジスタ（MESFET）を試作して、その電氣的特性を測定した結果を述べている。その結果、ゲート電圧によるソース-ドレイン間電流の変調動作を示し、電界効果トランジスタの基本である空乏層厚の制御を実証して、$\alpha\text{-Ga}_2\text{O}_3$が高耐圧のパワーデバイス材料として今後進展しうることを示している。あわせて、ソース、ドレイン電極のコンタクト特性の改善、ゲート電極における逆方向リーク電流の改善など、今後のデバイス応用に向けた課題を指摘している。</p> <p>第6章は結論であり、本論文で得られた成果について要約するとともに、研究成果の波及効果および今後の展開について提言を行っている。</p>			

(論文審査の結果の要旨)

本論文は、コランダム構造酸化ガリウム(α -Ga₂O₃)をベースとする半導体において、ドーピングによる電気的特性の制御を行い、デバイス応用に向けた進展を記すことを目指して行った研究をまとめたものであり、得られた主な成果は次のとおりである。

1. サファイア基板上アンドープにおいて絶縁体的な α -Ga₂O₃ 薄膜に対してスズ (Sn) のドーピングを行い、 $10^{18}\sim 10^{19} \text{ cm}^{-3}$ 台のキャリア密度制御に成功した。しかし、基板との格子不整合に基づく転位の影響で強いキャリア補償が生じ、 10^{18} cm^{-3} 以下の制御については結晶性の向上が不可欠であることを提言した。また、Sn のドーピングにより、 α -Ga₂O₃ 薄膜の表面粗さや結晶性が向上し、Sn がサーファクタント的な効果を果たしていることを見出した。
2. 450°C、24 時間のアニールで Sn が失活することを見出し、これをバッファ層として用いて Sn ドープ層を成長させるという方法を提言した。この結果、 $10^{17}\sim 10^{19} \text{ cm}^{-3}$ 台の広い範囲にわたるキャリア密度制御を実現し、ホール移動度は $24 \text{ cm}^2/\text{Vs}$ という大きな値を得た。また、Sn ドナーの活性化エネルギーを 36.8 meV と求め、水素モデルから計算した値と良い一致を示すことを見出した。移動度は、低キャリア密度領域において減少し、これは転位散乱の影響が強いためであり、結晶性の改善によって移動度がさらに向上しうることを指摘した。
3. コランダム構造酸化物半導体の特徴として酸化インジウムと酸化鉄の混晶である α -(In,Fe)₂O₃ 薄膜が強磁性を示し、キュリー点は 520~620K と室温以上の値を示すことを実証した。ここに Sn をドーピングして、キャリア伝導と強磁性を併せ持つことを示して、新しいスピントロニクス材料への展開を示唆した。
4. Sn ドープ α -Ga₂O₃ を用いた MESFET を試作し、ゲート電圧による伝導度変調の効果を確認した。このことから、Sn ドープ α -Ga₂O₃ が高耐圧のパワーデバイス材料として今後進展しうること示した。

以上、本論文は、コランダム構造の酸化ガリウムをベースとした半導体に電気的機能を付与し、新しいデバイスにつなげる基盤技術を築いたもので、学術上、實際上寄与するところが少なくない。よって、本論文は博士（工学）の学位論文として価値あるものと認める。また、平成 28 年 2 月 3 日、論文内容とそれに関連した事項について試問を行って、申請者が博士後期課程学位取得基準を満たしていることを確認し、合格と認めた。